



Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Hvor vigtigt er det at kalibrere afløbsmodeller?

Schaarup-Jensen, Kjeld; Johansen, Claus; Thorndahl, Søren Liedtke

Published in:
DanskVand

Publication date:
2007

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):

Schaarup-Jensen, K., Johansen, C., & Thorndahl, S. (2007). Hvor vigtigt er det at kalibrere afløbsmodeller? del II. DanskVand, (4), 6-9.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- ? Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- ? You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- ? You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Hvor vigtigt er det at kalibrere afløbsmodeller? Del II



Af Kjeld Schaarup-Jensen,
Aalborg Universitet,
Institut for Byggeri og Anlæg,

I 1996 afsluttede Aalborg kommune en renovering af en del af afløbssystemet i den lille by Frejlev ved Aalborg. Renoveringen omfattede også et målebygværk, hvor der siden kontinuert har været udført målinger af såvel tørvejs- som regnvejsflow samt prøvetagningskampagner. De mange flowdata har gjort det muligt at kalibrere flere parametre i afløbsmodellen MOUSE, bl.a. den hydrologiske reduktionsfaktor, som for Frejlev-oplandet antager en usædvanlig lav værdi. Denne artikel beskriver, hvor forskelligartede resultater MOUSE LTS-modellen producerer, når man simulerer de regnforårsagede afstrømningsforløb i et afløbssystem – som her i Frejlev – med netop denne model. Specielt belyses, hvor hyppigt opstuvning til rørtop, kælderniveau eller terræn forekommer.



Claus Johansen, NIRAS, Rådgivende
ingeniører og planlæggere A/S, Aalborg,

4. MOUSE LTS simuleringer på Frejlev

Den ret lave værdi for den hydrologiske reduktionsfaktor, der er fundet for kloak-oplandet i Frejlev, har inspireret denne artikels forfattere til at undersøge, hvordan dette influerer på resultaterne fra en MOUSE LTS kørsel på dette opland. Som sammenligningsgrundlag benyttes i en anden i øvrigt identisk simulering med MOUSE LTS en værdi, der er identisk med default-værdien i MOUSE. I stedet for 42 % er der i den efterfølgende LTS-simulering benyttet henholdsvis 45 og 90 %, simpelthen fordi der er en faktor 2 til forskel på disse to værdier af reduktionsfaktoren. Dette implicerer, at der som overflademodell i de to simuleringer i begge tilfælde benyttes overflademodell A, dvs. tid-areal-metoden. Som rørmodell benyttes fuld dynamisk bølgemodell.

Oplandsbeskrivelsen af Frejlev er venligt stillet til rådighed af Aalborg kommune, Kloakforsyningen. På baggrund af nye GIS-baserede oplandsdata har Thordahl *et al.* /10/ for nylig revideret de oprindelige oplandsdata, der på enkelte punkter er blevet korrigeret en smule.

For at få genereret tilstrækkeligt store gentagelsesperioder er simuleringerne baseret på anvendelsen af den velkendte gamle regnserie fra Odense (ODE1571), der indeholder data for 1571 historiske regnhændelser registreret over en periode på i alt 33 år. I begge simuleringer er alle disse hændelser uden undtagelse medtaget. Valget af denne regnserie kan forekomme besynderlig, da der er en afstand på mere end 200 km mellem Odense og Frejlev, men det har som sagt været afgørende at arbejde med en regnserie af en vis længde i et simulerings-eksempel, der først og fremmest tjener et illustrativt formål.

Vi vil nu betragte resultaterne fra disse 2 MOUSE LTS simuleringer, og vil som det første rette blikket mod ekstremstatistikken for det før omtalte overløbsbygværk, knudepunkt F på figur 2. Jf. figur 4 er der en markant forskel på overløbsvolumenerne, afhængigt af om den hydrologiske reduktionsfaktor, a , har værdien 0,90 eller 0,45. Effekten er, at de største overløbshændelser ($T > 5$ år) får forøget det aflastede volumen med en faktor ca. 3, fra 1.500–3.000 m³ til 4.000–8.500 m³. Det gennemsnitlige antal

Her bringer vi artiklens Del II.
Del I blev bragt i danskVAND
nr. 2, april 2007.

Artiklen bringes over to numre af danskVAND

Del I, april 2007:

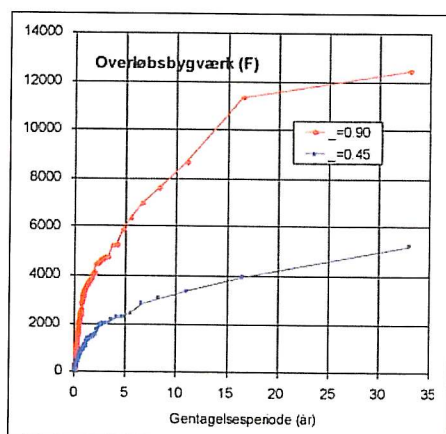
1. Indledning
2. Den afløbstekniske dimensioneringspraksis i Danmark
3. Afløbssystemet i Frejlev

Del II, juni 2007:

4. MOUSE LTS simuleringer på Frejlev
5. Konklusion baseret på MOUSE LTS-simuleringerne
6. Er den udførte kalibrering omfattende nok?
7. Konklusion

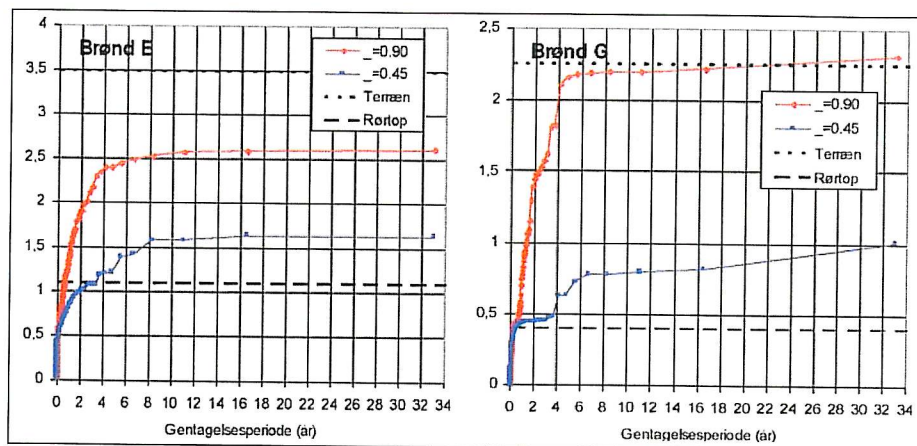
aflastninger pr. år forøges også markant fra 8,5 til 28,5, mens gennemsnitsværdien af overløbsvolumenet kun forøges lidt fra 410 m³ til 558 m³. Disse resultater er for så vidt ikke så overraskende, da der i det ene model-setup er dobbelt så meget regnvand i modellen, som der er i den anden.

Derimod er det ikke til at forudsige, hvilken effekt forøgelsen af reduktionsfaktoren har på opstuvningsstatistikkerne, da et dobbelt så stort regnvolumen ikke nødvendigvis vil medføre, at en eventuel opstuvning i systemet bliver "fordoblet". Dette afhænger også af strømningens dynamik sammenholdt med afløbssystemets geometri.



Figur 4. Overløbsvolumener i bygværk F som funktion af gentagelsesperioden.

På figur 5 er vist ekstremstatikkerne for maksimal vandstand i 2 brønde, henholdsvis brønd E og brønd G på figur 2. Figurene illustrerer ikke i bogstaveligste forstand den maksimale vandstand i



Figur 5. Opstuvningshyppigheder i afløbssystemet i Frejlev, brønd E og G.

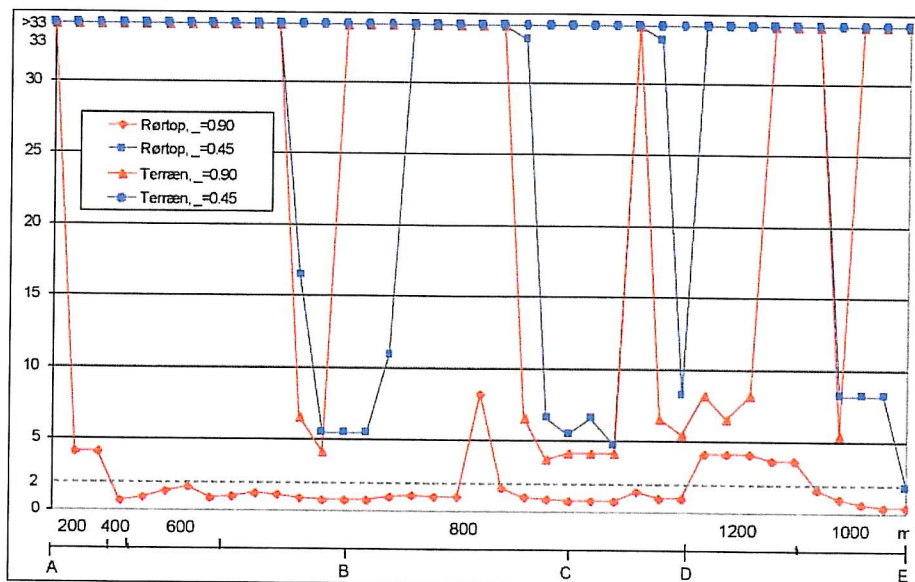
disse brønde under de gennemregnede regnhændelser, men derimod maksimal vanddybde, idet brøndenes bundkote, h_{bund} , er subtraheret fra den maksimale vandstand, h_{max} , i brøndene. På figurene er endvidere markeret niveauet for rørtop på udgående ledning samt niveauet for terræn.

Det ses af figur 5, at der for brønd E's vedkommende ikke forekommer opstuvning til terræn i nogen af de 2 simuleringer. Hvis der i nærheden af denne brønd findes kældre 1,5-2 m under terræn, så er sandsynligheden for kælderoversvømmelse meget stor i den fiktive simulering med $\alpha = 0,90$, hvorimod risikoen herfor er meget mindre i den realistiske (kalibrerede) simulering med $\alpha = 0,45$. Endvidere ses det, at niveauet svarende til rørtop på udgående ledning (en $\varnothing 1100$ mm ledning) bliver overskredet med en gennemsnitlig gentagelsesperiode, der er

mindre end 1, når $\alpha = 0,90$, hvorimod gentagelsesperioden er større end 3-4 år svarende til $\alpha = 0,45$. I henhold til tabel 2 kan man altså på baggrund af resultaterne fra en simulering med en ukalibreret MOUSE-model drage en forkert konklusion om oversvømmelseshyppighederne i (og omkring) brønd E, idet man kunne ledes til at tro, at hyppigheden er uacceptabel høj.

For brønd G's vedkommende ses det af figur 5, at hvis $\alpha = 0,90$, så vil terræn omkring denne brønd blive oversvømmet i gennemsnit hvert 23. år, mens terrænoversvømmelse aldrig optræder i tilfælde af $\alpha = 0,45$. Niveauet svarende til rørtop på udgående ledning ses i begge simuleringer at have gennemsnitlige gentagelsesperioder på under 1 år.

For den mest signifikante ledningsstrækning i Frejlev – strækning A-B-C-D-E



Figur 6. Opstuvningshyppigheder i afløbssystemet i Frejlev langs ledningsstrækning A-B-C-D-E. Ledningsdimensionerne på strækningen er angivet i mm.

på figur 2 – er der på figur 6 vist de gennemsnitlige gentagelsesperioder for opstuvning over henholdsvis rørtop og terræn. Den pågældende ledningsstrækning kan betragtes som hovedledningen i den fælleskloakerede del af Frejlev.

Betragtes først gentagelsesperioderne for opstuvning over rørtop, ses det af det pågældende "længdeprofil", at i den modelkalibrerede simulering ($\alpha = 0,45$) er gentagelsesperioden for denne hændelse på hele strækningen større end 4 år. Derfor kan det – formentlig i overensstemmelse med sandheden – konkluderes, at denne strækning er veldimensioneret. I den fiktive simulering ($\alpha = 0,90$) ses det, at gentagelsesperioden for samme hændelse på det meste af strækningen er mindre end 2 år. En bruger af MOUSE-modellen kunne derfor efter en sådan simulering meget let konkludere, at en opdimensionering af denne strækning er påkrævet.

Hvad angår opstuvning til terræn, så er denne hændelse overhovedet ikke indtruffet i den realistiske ($\alpha = 0,45$) simulering, idet gentagelsesperioden på hele strækningen ses at være større end 33 år svarende til regnseriens længde. Med hensyn til den urealistiske (ukalibrerede) simulering ($\alpha = 0,90$) forekommer opstuvning til terræn et par steder på strækningen med en gentagelsesperiode der ligger mellem 2,5 og 8 år. Også her kunne dette trække en MOUSE-bruger i retning af at drage en forkert konklusion.

Her skal man også være opmærksom på, at da den anvendte regnserie dækker en periode på 33 år, så vil alle heraf afledte hændelser med en gennemsnitlig gentagelsesperiode på over 5 eller 10 år være usikkert fastlagt, da hændelserne optræder så sjældent, at gentagelsesperioden bliver meget usikkert bestemt.

5. Konklusion baseret på MOUSE LTS simuleringerne

Ovenstående simuleringer med MOUSE LTS er baseret på to forskellige værdier af den hydrologiske reduktionsfaktor. Den ene, $\alpha = 0,45$, svarer til den udførte kalibrering af overflademodel A – jf. figur 3. Den anden værdi, $\alpha = 0,90$, der altså er 2 gange større, er valgt for at illustrere, hvad der kan ske, hvis en kalibrering af overflademodellen i MOUSE ikke er mulig, fordi samhørende ned-

børs- og flowmålinger ikke eksisterer. En bruger af MOUSE kan i givet fald let blive fristet af, at netop denne værdi er defaultværdien for reduktionsfaktoren i MOUSE. En "hjælpende hånd" kan i denne forbindelse også være allerede eksisterende erfaringsværdier, der typisk ligger på 70-90 % lidt afhængigt af oplandstypen.

Lidt firkantet kan man altså sige, at de to udførte simuleringer med MOUSE LTS på afløbssystemet i Frejlev illustrerer forskellen på, hvor forskellige resultater man kan komme frem til ved en sådan simulering, afhængigt af om man benytter en kalibreret eller ikke kalibreret model, hvad angår værdisættelsen af hydrologisk reduktionsfaktor.

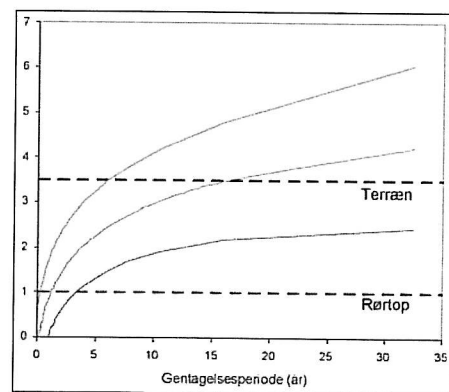
6. Er den udførte kalibrering omfattende nok?

I forbindelse med figur 3 bør det påtænkes, at den udførte kalibrering af MOUSE i tilfældet Frejlev sker i målestationen, der har næsten hele kloakoplandet opstrøms. Når omtalte reduktionsfaktor i modellen er afpasset efter flowmålingerne i målebygværket, sikrer man sig, at det samlede afstrømmede regnvolumen fra oplandet i modellen i gennemsnit under flere regnhændelser svarer til det målte afstrømmede volumen. Betragter vi en enkelt af de regnhændelser, der indgår i kalibreringen, vil den udførte kalibrering i middel på udmærket vis beskrive, hvor stor regnafstrømningen er fra oplandet i den pågældende hændelse, men der er – som figur 3 viser det – variationer i, hvor god kalibreringen er fra hændelse til hændelse. Men bag den kalibrerede, "globale" værdi af reduktionsfaktoren kan der godt tænkes at ligge skjult en ubekendt geografisk variation af reduktionsfaktoren, der på ubekendt vis kan variere lokalt, samtidig med at den globale værdi for hele oplandet passer. Dette forhold spiller selvfølgelig en rolle, når man skal vurdere opstuvningshyppigheden på forskellige lokaliteter i oplandet.

Her er det også tankevækkende, at den udførte globale kalibrering kun sikrer, at det totale afstrømmede regnvolumen i middel passer for oplandet som helhed. Kalibreringen har på ingen måde omfattet målte opstuvningsniveauer i en række af afløbssystemets brønde, så selv om rørberegningen i MOUSE hviler på et veldokumenteret hydrodynamisk grund-

lag, er der en lang række parametre, hvis værdier har betydning for tidsforløbet i afstrømningen både på overfladerne og i rørsystemet. Her kan nævnes koncentrationstiden på overfladerne, Manningtallene for de enkelte ledningsstrækninger, enkelttabene i brønde og på ledningsstrækninger osv. Resultaterne vist ovenfor i figur 4-6 er alle baseret på, at tidsforløbet af afstrømningen er nogenlunde korrekt beregnet i MOUSE, men dette burde reelt have været sikret ved en kalibrering baseret på målte vandstande i en passende del af systemets brønde under en række forskellige hændelser.

Dog er det uomtvisteligt, at forskellen på de ovenfor opstillede ekstremstatistikker for opstuvningsniveauer antyder, at hvis vigtige input- og modelparametre er behæftet med en usikkerhed, så slår denne signifikant igennem på resultatet af en LTS-simulering. Ideelt set bør man forsøge at inddrage usikkerheden på alle input- og modelparametre i den anvendte afløbsmodel, så man efter en stokastisk simuleringsproces kan præsentere en ekstremstatistik, der ikke – som vist på figur 5 – fremstår som én "skrāsikker" statistik, men en "middelværdi-baseret statistik" omkranset af et konfidensbånd. Dermed vil eksempelvis hændelsen "opstuvning over kælderniveau" ikke blot kunne angives med én værdi af gentagelsesperioden, men af et gentagelsesperiodeinterval, hvor man i givet fald kan vælge at anvende intervallets mindste værdi i sin afløbstekniske vurdering af, om en opdimensionering eller renovering er påkrævet eller ej. Dette er forsøgt illustreret på figur 7.



Figur 7. Principsskitse visende opstuvningshyppigheder i en brønd i et afløbssystem. Grøn kurve svarer til en middelværdi-baseret simulering (50 % fraktile), rød og blå kurve angiver et konfidensbånd svarende til eksempelvis 90 og 10 % fraktile.

7. Konklusion

"Hvor vigtigt er det at kalibrere afløbsmodeller?" Baseret på det her gennemregnede eksempel fra Frejlev og ovenstående betragtninger mener denne artikels forfattere, at svaret på dette spørgsmål kun kan formuleres på denne måde:

I det omfang resultaterne fra simuleringer med afløbsmodeller indgår i vurderingsgrundlaget for, om en opdimensionering eller renovering af et eksisterende afløbssystem er påkrævet, er det af afgørende betydning, at brugeren af modellen har fået modellens vigtigste parametre kalibreret på baggrund af lokale målinger.

Benytter man afløbsmodeller til dette formål uden at have mulighed for at foretage en sådan kalibrering, bør man basere sit parametervalg på kalibreringsværdier fra andre kloakoplande med lignende karakteristika.

I hvilket omfang sådanne "typiske" kalibreringsværdier eksisterer i Danmark, vil forfatterne belyse i en senere artikel, der også vil indeholde en appel til kommunerne om – eventuelt i et samarbejde med Miljøstyrelsen – at etablere flere målestationer i en række danske afløbssystemer.

Hermed er artiklen afsluttet. Første del stod at læse i april-nummeret af danskVAND, hvori også artiklens referencer var medtaget.

Midtfyns Vandforsyning A.m.b.A.

KALIBRERING AF VANDMÅLERE !

 **DANAK**
Reg. nr. 418
Kalibrering af koldt vandmålere

Målerlaboratoriet ved Midtfyns Vandforsyning A.m.b.A. kan foretage akkrediteret kalibrering af vandmålere ved flow fra 25 l/t til 9000 l/t, hvilket dækker vandmålere i størrelse op til Qn 6. Vi kan derudover sørge for akkrediteret kalibrering af større målere gennem ydelser fra underleverandører.

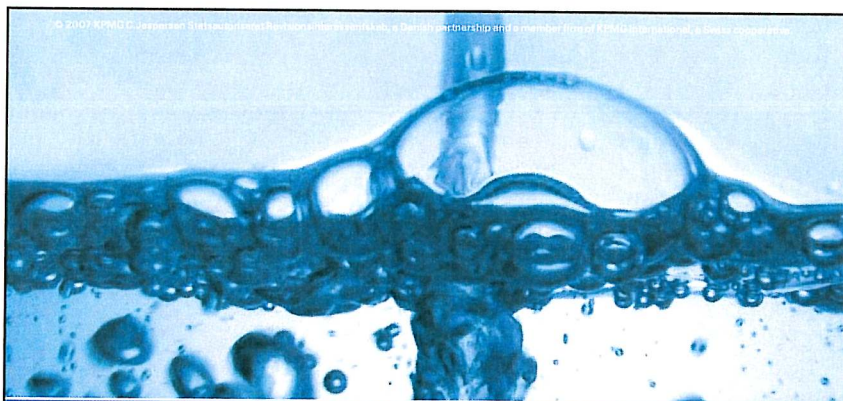
Målerlaboratoriets dokumenterede måleevne går helt ned til $\pm 0,3\%$. Da vi således er under kravet på $\pm 0,4\%$ kan vi angive kalibreringsresultaterne uden forbehold.

Målerlaboratoriets personale er altid behjælpelige med råd og vejledning om, hvorledes vandværket kan gribe opgaven med statistisk målerkontrol an.

**Kontakt os vedrørende tilbud på en konkret afprøvning.
Vore priser er incl. certifikater.**

"Er dine målere op ad åre - så kontakt Svend Erik og Kåre"

Målerlaboratoriet • "Vandgården" • Lombjergevej 22 • DK-5750 Ringe
Tlf.: 62 62 12 05 • Fax.: 62 62 27 05 • E-mail: midtfynsvand@post.tele.dk



Spørgsmål om vand og spildevand?

KPMG rådgiver om blandt andet udskillelse af selskaber, benchmarking, organisation, omstruktureringer, effektiviseringer samt skatte- og afgiftsmæssige forhold.

Kontakt Søren Peter Nielsen 25 29 46 15 eller Claus Dalager 25 29 46 10 for en uforpligtende samtale.

Du kan også rekvirere vores gratis nyhedsbrev Energi og Forsyning på

www.kpmg.dk

AUDIT ■ TAX ■ ADVISORY

